

# 大模型： 城市和区域研究的新范式\*

龙 瀛 吴 康 王江浩 刘行健

**提 要** 提出了大模型这一城市 and 区域的新范式。大模型是在一个大地理区域上建立的相对精细尺度的城市-区域分析与模拟模型。随着大数据和开放数据的广泛使用,以及日益成熟的计算能力和日臻完善的区域和城市模拟分析方法,大模型使得兼顾大地理尺度与精细化单元成为了可能。详细说明了大模型的概念、特征及其潜在的应用方式,并重点采用案例的方式介绍了一系列大模型的应用进展,如推导中国所有城市的城镇建设用地范围、地块尺度的城市扩张模拟、城市增长边界评价等,这些研究大多基于全国尺度开展,并关注精细尺度(如地块、街区、乡镇街道办事处等)。期待在大数据时代,大模型作为一种新的研究方式,能为区域和城市研究提供新的视角和思考。

**关键词** 大模型;应用城市模型;精细尺度;区域;中国

中图分类号 TU984

文献标识码 A

文章编号 1000-3363(2014)06-0055-09

## 作者简介

龙 瀛, 博士, 北京市城市规划设计研究院高级工程师, 北京城市实验室 (Beijing City Lab) 创始人, longying1980@gmail.com

吴 康, 博士, 首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院, 讲师

王江浩, 博士, 中国科学院地理科学与资源研究所

刘行健, 博士, 香港大学建筑学院城市规划与设计系, 助理教授

Big Models: A Novel Paradigm for Urban and Regional Studies

LONG Ying, WU Kang, WANG Jianghao, LIU Xingjian

**Abstract:** This article proposes the concept of big model as a novel research paradigm for regional and urban studies. Big models are fine-scale regional/urban simulation models for a large geographical area. With the widespread use of big/open data, the increased computation capacity, as well as the advanced regional and urban modeling methodologies, big models make it possible to overcome the trade-off between geographical scale and simulation resolution. In this paper, the concept, characteristics, and potential applications of big models have been elaborated. We also presented several case studies to illustrate the progress of our research and the application of big models. Most of these applications can be adopted across the country, and all of them are focusing on a fine-scale level, such as a parcel, a block, or a township (sub-district). It is expected that big models will mark a promising new era for the urban and regional study in the age of big data.

**Keywords:** big model; applied urban modeling; fine-scale; large area; China

## 1 大模型的提出背景

### 1.1 城市模型与区域模型

模型是客观存在的事物与系统的模仿、代表或替代物,它描述客观事物与系统的内部结构、关系和法则。基于模型的定量研究一直是城市与区域研究中的重要研究路径,城市-区域模型的提出和应用也一直得到学术界的广泛关注(张伟,顾朝林,2000)。由于研究对象空间尺度的差异,区域模型一般更侧重宏观地理尺度的研究命题,如国家、省域和城市群层面,其主流的模型方法涉及到多种空间分析和计量统计等,模型本身多由数据驱动下的处理和分析主导(王劲峰,1993;秦耀辰,2004)。与区域模型相比,城市模型的应用则更趋向于建模和模拟(Batty,2009)。城市模型通过对城市研究对象各系统组成要素的抽象化和建模,从而达到解析、模拟

\* 国家自然科学基金青年项目(51408039、41401178),教育部人文社会科学研究青年基金(14YJC790132),北京市自然科学基金青年项目(9154024);本文系作者根据在2014年“第11届中国城市规划学科发展论坛”上的演讲整理而成

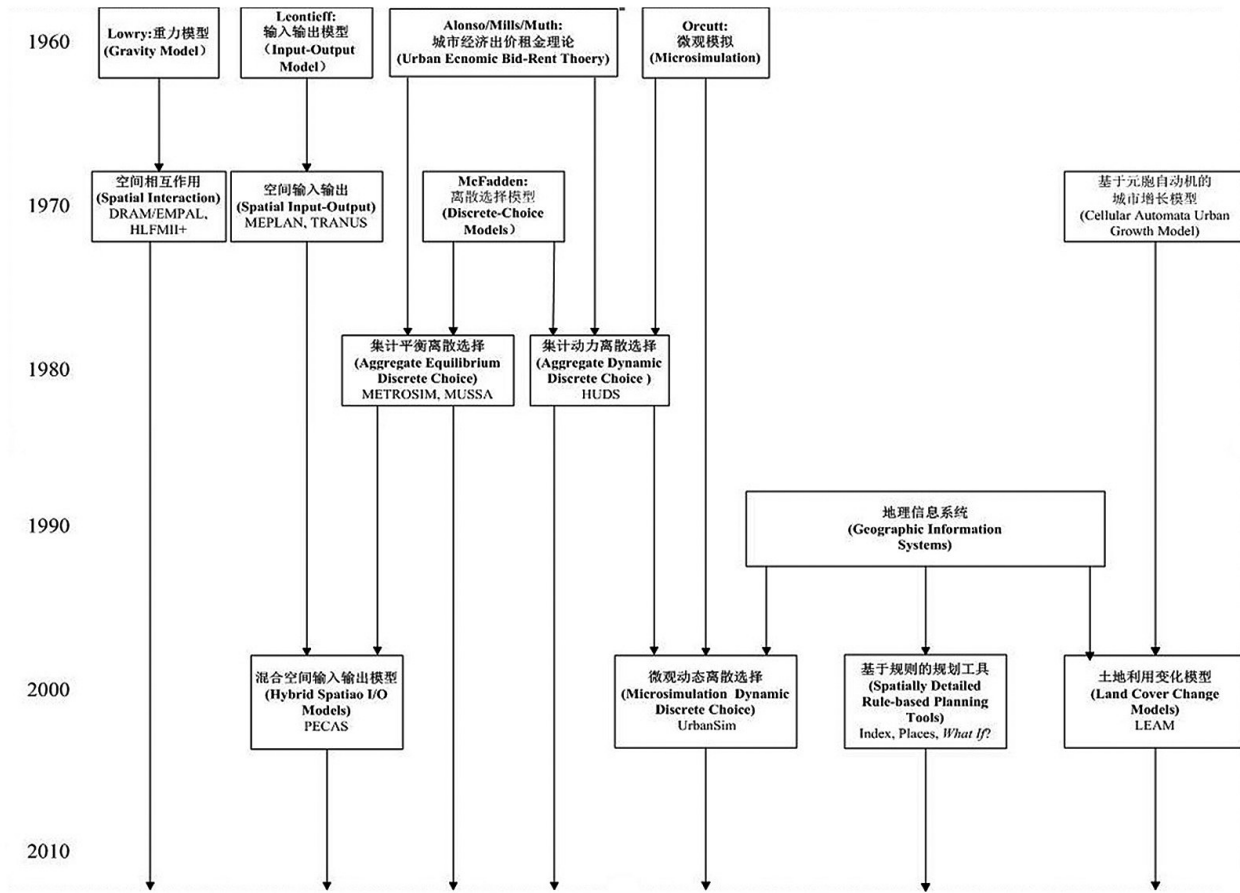


图1 城市模型的发展演化过程

Fig.1 The development line of Applied Urban Models

注：本图参考了Paul Waddell关于UrbanSim的介绍材料 (Dynamic Microsimulation: UrbanSim, Webinar 5 of 8-part TMIP, Webinar series on land use forecasting methods) .

和预测城市运行过程和演化机制的目的。城市模型在1950年代初最初被提出，之后经历了不断的改进和演化，图1概括了其从静态模型到动态模型的发展演化进程，具体综述详见朱玮等(2003)、刘伦等(2014)以及万励和金鹰(2014)的研究。动态城市模型进一步涵括了自上而下的微分方程组模型，以及自下而上的元胞自动机模型和个体为本模型。与此同时，模型的研究空间单元也经历了从大尺度单元(如大网格、分区)到精细化单元(街区、地块、单体建筑)的转变(Hunt, et al, 2005; Wegener, 2004)。总的来看，由于不同的研究目的和研究关注尺度的差异，区域模型与城市模型的使用通常有所区别，而同时交互应用或整合利用两种模型的情况并不多见(图1)。

根据研究尺度和模拟单元的大小，

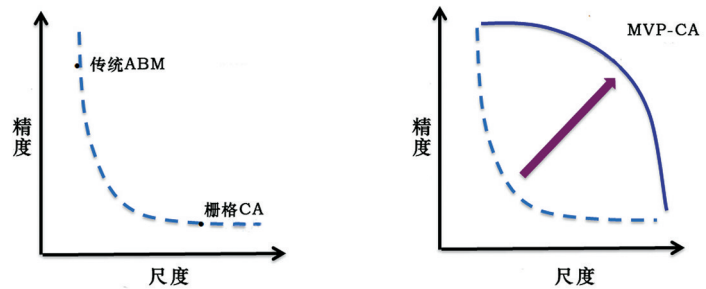


图2 传统城市区域研究模型与大模型对比 (ABM=Agent-based Modeling, CA= Cellular Automata, MVP-CA=Mega-Vector-Parcels Cellular Automata)

Fig.2 Conventional models vs. "Big Models" (MVP-CA, a mega-vector-parcels cellular automata model, is our first big model for simulating urban expansion at the parcel level for all Chinese cities)

资料来源：笔者自绘。

城市与区域模型通常可以分为两类：第一类为小尺度精细化单元模型，小尺度通常不超过单个城市的范围，模拟单元通常可以精细到地块、街区，或者更细小的空间或社会单元；第二类为大尺度模型，研究范围可以扩展至区域或整个

国家，模拟单元为区县或者超级单元体。由于数据和计算能力有限，模型在研究尺度和精细度方面往往不能两者兼顾，更大尺度的研究范围通常以牺牲精细度为代价，同时兼顾大尺度、精细单元的研究模型一般较难实现(图2)。

总的来看,大尺度的精细模型在城市和区域研究界还较为少见。在中国,数据缺乏和受限的情况更为普遍和严重。此外,由于中小城市在信息系统基础设施方面的投入相对不足,数据的有效获取往往变得更加困难,因此如何克服和减少由于数据缺乏或精度不足导致的研究偏差已成为实现精细化城市和区域研究要解决的主要问题之一。

## 1.2 大模型出现的新背景

笔者将兼顾大尺度范围和精细化研究单元的模型定义为“大模型”。大模型是由大规模数据驱动的定量城市与区域研究工具。它一般采用简单直接的建模路径,同时兼顾大范围的研究尺度和较为精细化的模拟单元,代表了一种新的城市与区域研究范式。大模型的提出基于以下的时代和技术背景:①当今是一个大数据时代,丰富的数据获取渠道和大规模的数据量为城市研究和城市管理带来了新的机遇。智能手机数据、公交智能卡数据、签到数据、出租车轨迹数据已相当普遍。随着移动互联网技术的广泛应用和发展,个人数据的产生、记录、存贮已经成为城市居民日常生活的一部分,这些无一不为城市研究提供了丰富和可靠的数据来源,目前也有讨论称“数据就是模型”(Batty, 2012);②当今也是开放数据的时代,随着政府工作的透明化趋势和公众参与监督的需求,各级政府信息逐渐公开化,例如规划许可审批、土地交易记录、住房信息、公共服务设施等信息如今都可以通过互联网等公开途径获取,这对传统城市与区域研究中的数据是一种重要的补充、支撑和拓展;③个人计算机和工作站的计算能力都大幅提升,并行计算和Hadoop技术也日趋完善,这为海量数据或基于居民个人活动的大数据快速处理提供了平台支持;④大模型所涉及的自下而上的模拟工具,例如元胞自动机模型、基于个体建模、网络分析、空间分析等技术工具日臻完善。基于此,笔者认为大模型的出现为城市与区域研究翻开了新的篇章。

## 2 大模型:城市与区域研究的新范式

与传统城市与区域模型相比,大模型具有以下几个重要特点。

### 2.1 兼顾研究范围和模拟粒度

大模型兼顾研究范围和模拟单元的粒度,具体体现在:①超过常规模拟单元对应的空间尺度,即兼顾更大尺度的研究范围却不牺牲精细度。例如研究城市居民生活质量(QOL)通常可以精细到街区或地块尺度,但以往的研究范围大多只局限在个体城市;运用大模型,研究尺度可以扩展至更大地域甚至全国范围,并兼顾相同的精细度;②比常规模拟空间范围对应更精细的空间和社会模拟单元(地块或个人)。例如全国人口密度研究多为区县尺度,而大模型的使用则可以将精细度提升至街道乡镇。因此,大模型的研究尺度更适用于《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》中所提出的“以人为本的城镇化”的度量、建模与政策探索。

### 2.2 大规模数据驱动

大模型兼顾了较大的研究范围和较细的研究单元,因此需要大量的数据驱动模型。相对于统计小区、交通分析小区、行政区、行业、共同特征的人群等作为基本研究对象的区域分析模型而言,一方面在物理空间上,大模型多以

地块/街区或乡镇为基本空间单元;另一方面在社会空间上,多以城市活动主体如居民、家庭和企业等个体作为基本单元进行分析和模拟。达到这样的数据精度,一般对于个体城市的数据量就已较大,而对于致力于研究大量城市的大模型,则需要更大规模的数据驱动,大数据和大的开放数据为此提供了条件。

### 2.3 整合点和面,兼顾城市内和城市间

大模型的研究对象多为包含了大量城市的“城市体系”。传统的区域研究中,对城市体系中的城市大多抽象为点,侧重考查城市间的相互作用和联系。城市研究中则往往将案例城市当做“面”来研究其内部诸要素的作用关系。精细尺度上的大样本量城市分析模拟,除了考虑城市内部的发展动态,还需要关注城市间的“网络”,而不是孤立的研究各个城市。大模型通过整合区域和城市的点、面相互作用,较好地兼顾了城市内和城市间的综合分析(图3)。

## 3 大模型的若干尝试:以中国城市为例

大模型代表了中国第一个利用大数据和开放数据进行城市研究的尝试。以下我们将介绍已经完成的基于大模型思路 and 范式下的应用案例。

### 3.1 全国城市地块尺度建成区界定

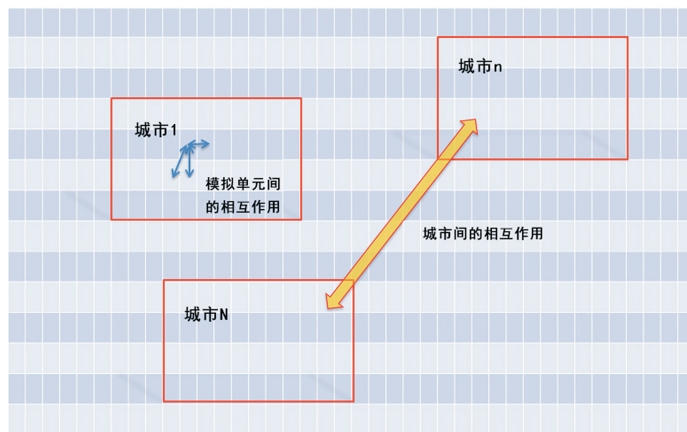


图3 城市内部和城市间分析方法在大模型中的整合

Fig.3 An illustration of a big model integrating intra- and inter-city methodologies  
资料来源:笔者自绘。



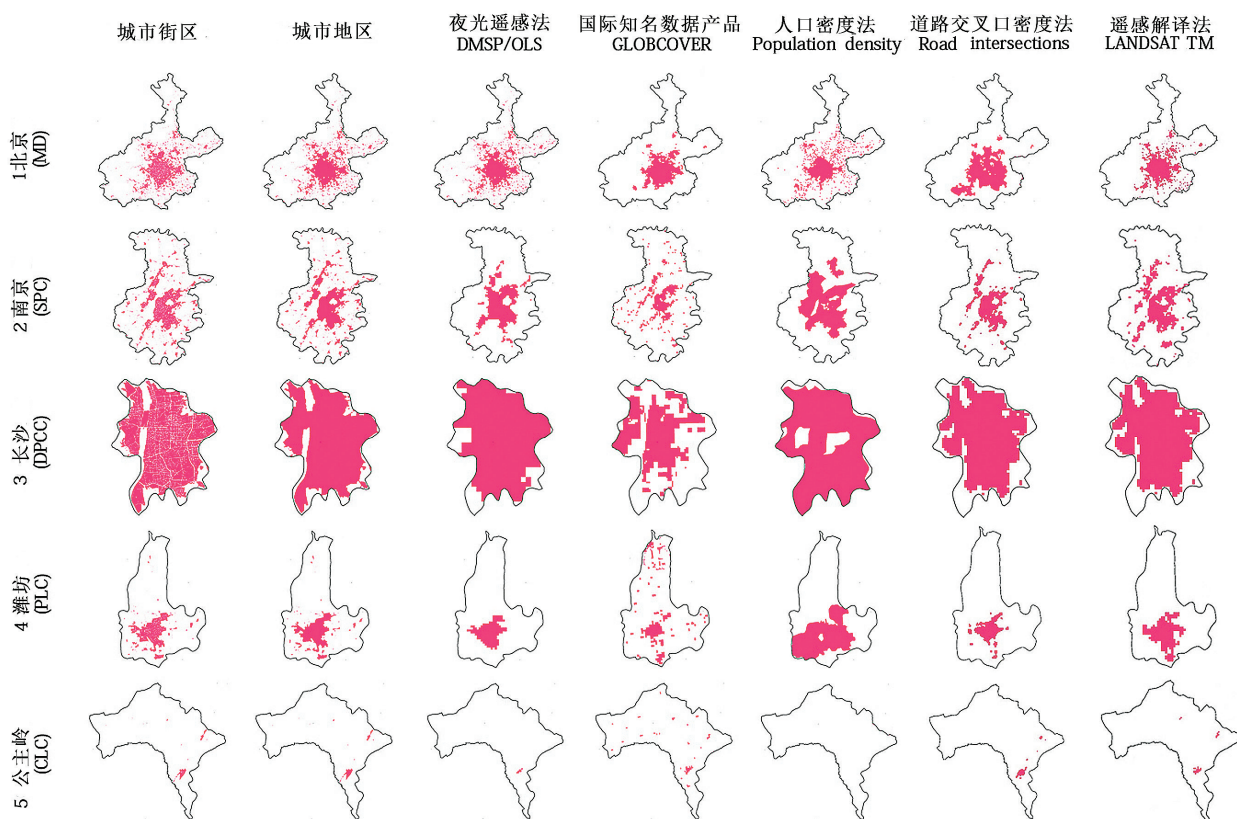


图4 运用多种不同方法对中国五所城市建成区界定对比 (DMSP/OLS为夜光遥感法、GLOBCOVER为国际知名数据产品、Population density为人口密度法、Road Intersections为道路交叉口密度法、LANDSAT TM为遥感解译法)

Fig.4 Mapped urban areas in five typical Chinese cities by various methods  
资料来源：笔者自绘。

城市建成区的界定在城市空间研究、规划和政策制定、城市管理等方面至关重要。它不仅能够反映城市的空间结构和形式，还可以揭示社会经济发展水平，例如人口聚集程度、社会互动水平、能耗、用地有效性等 (Batty, 2011)。传统建成区界定的方法采用自上而下的形式，但往往受制于数据的缺乏，而且方法不能统一 (Long, Liu, 2014)。在这样的背景下，我们利用街道数据和兴趣点 (points-of-interest、POI) 数据，建立了一种自下而上、精细化、可适用于各类城市规模的建成区界定方法。

建成区界定可以采用多种方法。从城市形态方面来看，卫星图像和夜光遥感技术得到了越来越多的关注。卫星图像和夜光遥感技术通过获取城市活动和土地覆盖信息帮助人们识别城市建成区 (He, 等, 2006)。此外，街道网络、空

间句法等理论和方法也在描述城市结构和连接性等方面有所应用，例如路口密度 (Masucci, 等, 2012; Batty, 等, 2012)、分形指数 (Jiang, Yin, 2013)、整合度、可达性等。从城市功能方面来看，人口密度 (Rozenfeld, 等, 2009)、就业密度 (SGS Economics & Planning, 2011, 2012)、基础设施可达性 (Hu, 等, 2008) 等已经成为界定和研究城市区域常用的指标 (US Census Bureau, 2014)。

但是，上述方法普遍存在缺陷与不足：①卫星图像和遥感数据的处理会耗费大量的财力、人力和时间，此外，卫星图像的空间分辨率通常较低 (500m-1000m)，很难满足精细度的要求；②几何方法可以用于既定的空间形态描述和分析，却无法以此准确建立模拟空间单元 (如地块、街区等)；③高精度数据具有时间敏感性。由于传统收

集和处理数据的方式耗时长，得到的结果很难准确及时地跟进程度微小但影响巨大的人口和社会经济变化。

鉴于此，Long 和 Liu (2014)提出了利用全国路网测绘数据和POI自动识别来描述地块的方法 (模型英文简写AICP)。路网数据用来划定地块边界，POI用来识别生成地块的开发密度、功能、混合使用程度以及人类活动。具体方法见Long和Shen(2014a)。

地块是被城市道路切割而成的城市用地。识别地块涉及到两个主要步骤，首先识别道路占地空间，然后根据道路相互切割得到的区域确定地块。具体步骤如下：①绘制创建路网数据线性图层；②以200m为临界值对单个街段进行修剪以去除没有与其他道路相连接的街段；③各个街段两端延伸20m以保证与相邻街段连接；④根据路网宽度规定设立道路缓冲宽度，从而得到道路空间；



⑤道路空间切割而成的剩余空间形成地块；⑥最后与相应的行政区域范围进行比较，确定地块所属行政管辖范围。

地块的开发密度，为地块内部或邻近POI点的个数与地块面积的比值。为了进行城市内部和城市间的对比，我们利用下列公式对开发密度进行标准化：

$Standardized\ density = \log(raw) / \log(max)$ ，其中raw为单个地块的开发密度，max为全国最大密度值<sup>①</sup>。

我们进一步采用约束性元胞自动机模型推测地块属性。该模型对城市地块赋值1，非城市地块赋值0。所有地块初始假设值为0，即非城市用地。在推测地块真实属性时，模型不仅考虑地块内生属性，例如人口密度、社区类型、空间指标等，同时也结合了邻近地块的是否为城市用地这一属性。模型的模拟过程在全部城市地块面积等于城市总用地时停止。

笔者利用该方法对全国654个县级及县级以上城市进行了地块尺度建成区的界定，并与其它建成区界定方法一一进行对比，结果如图4所示，其中笔者研究方法的结果为“城市地区”一列（“城市街区”一列对应选择的的城市地块）。研究的直接产出是全国654个城市高精度、地块尺度的城市建成区数据库，为实际规划项目和政策的开展实施提供了坚实的数据基础。与传统方法相比，约束性元胞自动机方法的模拟过程快捷、直接、精准，数据结果（即识别的地块）为结合其他高像素数据提供了空间单元基础。此外，这种方法为城市研究提供了一个自下而上的全新视角。

### 3.2 地块尺度模拟全国城市扩张过程

城市增长过程模拟有助于了解城市发展趋势和预测发展需求。由于数据和技术所限，传统的大尺度城市增长模拟只能基于粗略的模拟单元，例如区县或大街区尺度，精细度通常在10km<sup>2</sup>左右。大尺度精细化单元模拟模型目前还很少见。大尺度精细化模拟模型使模拟和分析结果对地方的决策、规划、管理工作更具指导意义，也使横向的城市发展对比成为可能，因此很有研究和实践

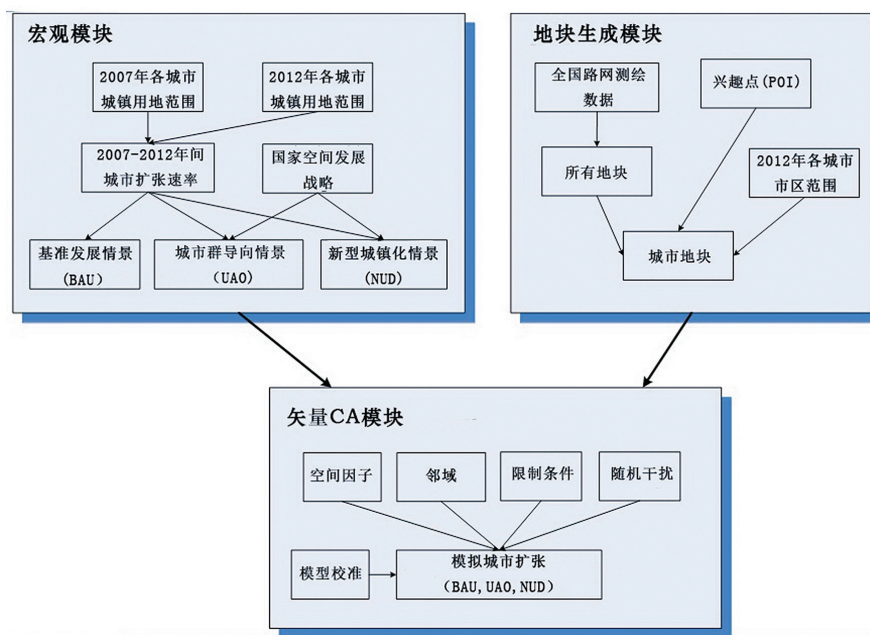


图5 MVP-CA模型的框架体系  
Fig.5 The structure and flow diagram of MVP-CA  
资料来源：笔者自绘。



图6 中国所有城市的扩张模式 (BAU情景模拟)  
Fig.6 Urban area of all Chinese cities, and urban expansion patterns of the entire China for BAU scenarios  
资料来源：笔者自绘。

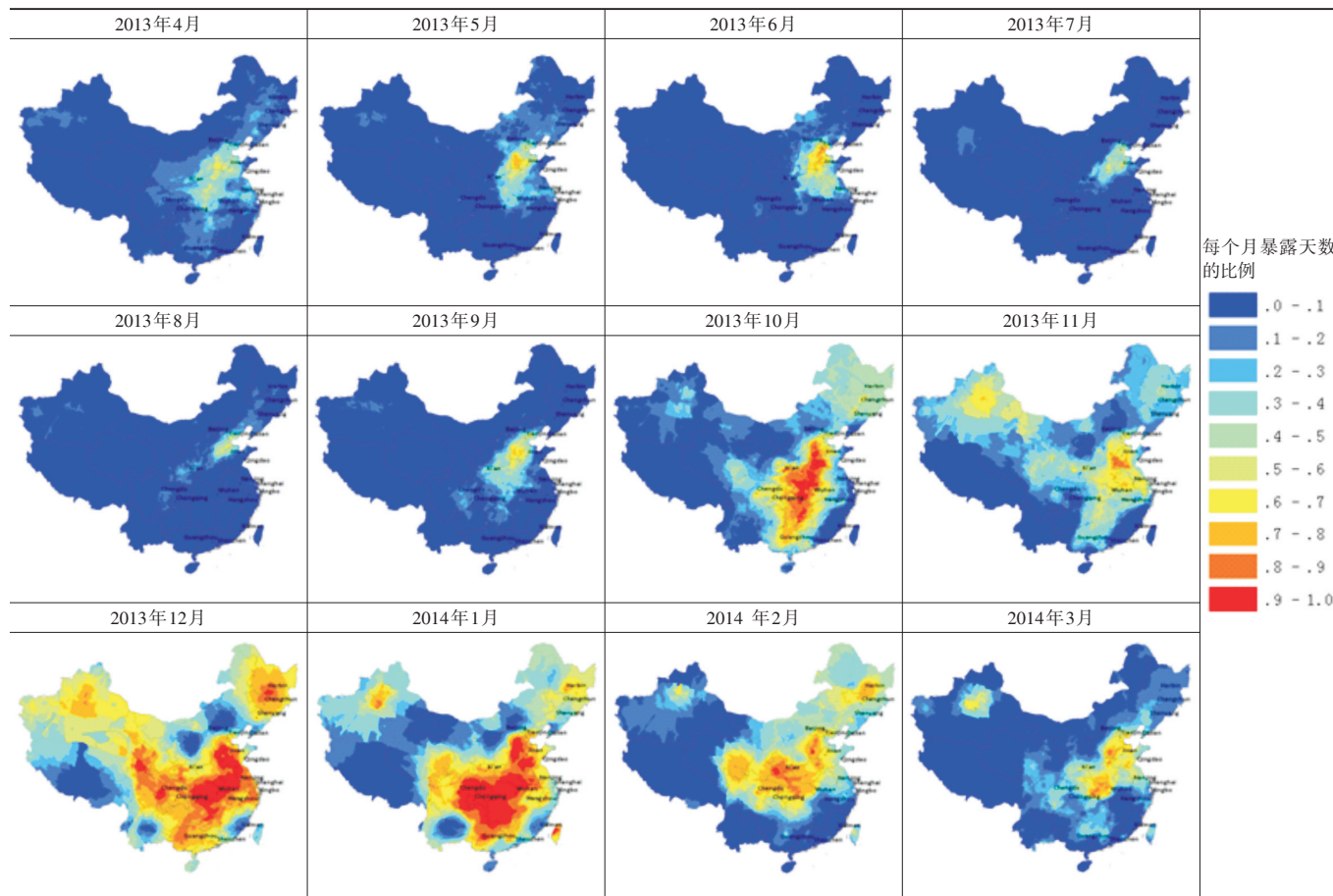
价值。

鉴于此，笔者提出了利用Mega-Vector-Parcels Cellular Automata Model海量矢量地块元胞自动机(MVP-CA)对全国城市地块尺度扩张过程模拟的方法。该方法框架包括三种模块：宏观模块，地块生成模块，矢量CA模块。宏观模块利用城市历史扩张数据

和国家空间发展战略，对未来5年内城市建设用地增长速率进行预测。在识别地块的基础上，笔者使用矢量CA模块对全国654个城市2012年至2017年间的城市扩张进行了模拟。模拟的城市扩张情景包括三类：基准发展情景(Business As Usual, BAU)，城市群导向情景(Urban Agglomeration Oriented, UAO) (Wu

表1 全国所有地区街道尺度每月空气污染暴露天数

Tab.1 Exposed days in each month for each sub-district in China



资料来源：笔者自绘。

等, 2013), 新型城镇化情景 (New Urban Development, NUD)。方法框架如图5所示。最后, 利用北京城市发展BUDEM模型对模拟结果进行验证。具体见Long等 (2014)。

该工作的成果主要体现在三个方面: 一是提出的矢量CA模型弥补了大尺度精细单元城市增长模拟模型长期以来的空缺; 二是将宏观空间发展战略与地方城市扩张结合起来, 使宏观发展战略在微观层面上得以评估; 三是模拟结果为决策制定者、规划师、研究人员、居民提供了丰富的数据资源 (图6)。

### 3.3 全国街道尺度人口对PM<sub>2.5</sub>的人口暴露评价

中国快速的经济发展和城镇化带来了环境恶化的副作用, 其中包括空气污染。当前学术界少有针对性大范围、长时间的人口PM<sub>2.5</sub>暴露程度的研究。此外,

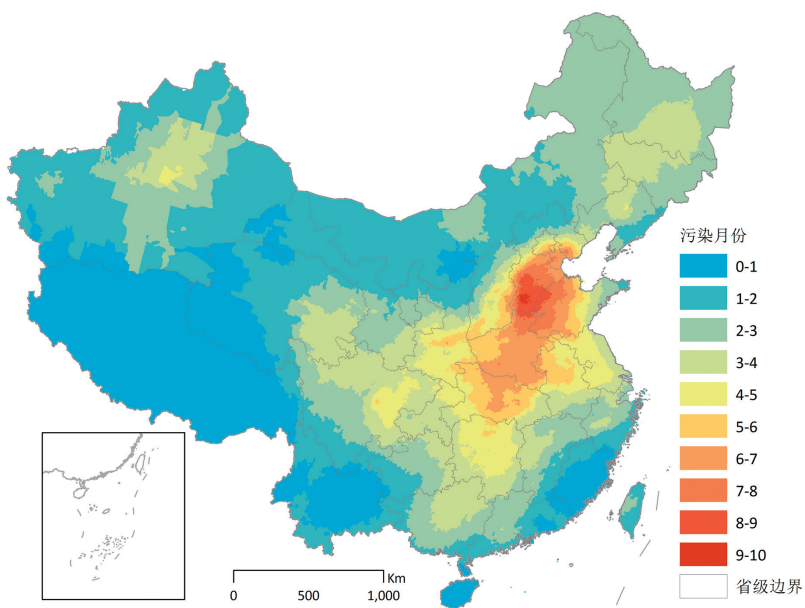


图7 全国所有地区街道尺度的全年空气污染暴露月数

Fig.7 The number of total exposed months for each sub-district in China  
资料来源：笔者自绘。





图8 规划建设用地边界规划图(部分)  
 Fig.8 The profile of raw figures for planned UGBs (partially shown)  
 资料来源: 笔者自绘.

大部分的研究侧重于空气污染对健康和生态系统的影响、空气污染物的测量和监控, 对空气污染时空格局关注普遍不足。

为弥补了这一空缺。研究中, 笔者收集了2013年4月8日-2014年4月7日期间每日的PM<sub>2.5</sub>浓度值。数据来自中国环境监测站(www.cnemc.cn), 采集范围覆盖了全国190个城市共计945个空气质量监测点。除了地面监测站数据, 笔者利用中分辨率成像光谱仪大气气溶胶厚度(MODIS AOD)数据对PM<sub>2.5</sub>进行插值补充; 另一方面, 结合六普的分街道乡镇统计数据, 重点研究全国所有街道乡镇单元的人口PM<sub>2.5</sub>暴露率和暴露强度风险。总的来看, 人口密度越大、或全年暴露天数越多, 暴露强度越大, 最后进一步对人口暴露的预测值进行时空格局分析(图7所示为全年累计污染月数的全国范围分布, 表1所示为各月污染天数的全国范围分布图)。具体见北京城市实验室(BCL)的PM<sub>2.5</sub>项目情况(<http://www.beijingcitylab.com/projects-1/13-pm2-5/>)。

### 3.4 全国城市增长边界评价

在控制城市蔓延的政策中, 容纳式城市发展策略(urban containment policy)以提高城市土地利用密度和保护开放空间为目标(Nelson, Duncan, 1995; Long, 等, 2011)。容纳式城市发展策略通常包含三种形式: 绿带、城市增长边界、以及城市服务边界(Pendall, 等, 2002)。城市增长边界(UGB)是应用最广泛的手段之一。通过划分城市建设用地与非建设用地、颁布城市发展许可等措施, UGB将城市化地区与周边生态开放空间区分开来。在中国, 土地利用总体规划或详细规划中的“规划建设用地边界”与UGB具有较高的相似性, 通常被认为是中国的UGB(Long, 等, 2013)。

在中国的城市规划中, 传统划定UGB的方法多基于规划师的个人经验, 因此缺少充足的科学依据和数据支持, 很难达到UGB控制城市蔓延的功效。Han等(2009)对北京六环内规划建设用地边界的控制成效进行了研究和评

估, 发现在前两个十年规划期间(1983-1993年和1993-2005年), 大量城市建设项目出现在了规划建设用地边界外。Tian和Shen(2011)和Xu等(2009)的研究表明广州和上海出现了相似的情况。Long等(2012)研究了北京1958-2004年间的五年总体规划, 进一步支持了以上观点。目前, 多数的UGB研究和评价工作局限于单个城市或区域, 城市间横向的UGB实施评估和对比还处于空缺状态。

笔者开展了全国范围内系统地横向对比和评估UGB控制成效的研究。首先收集了全国超过300个城市的“规划建设用地边界”规划图(图8)并用GIS将其数字化。之后将各个城市的UGB与实际城市建成区范围进行对比, 并计算合法建设用地与实际建设用地的比值从而进行城市间的横向对比。城市过度开发强度可进一步由城市实际扩张面积除以规划建设用地面积得到。

该研究的贡献集中体现在以下方面: 首先, 与先前的研究相比, 本研究使跨城市、跨区域间的横向UGB比较成



为可能，进而使不同形式的城市发展对比更加有意义；此外，研究提供了全国整体城市建设发展的趋势，有效帮助了规划政策的评估、监督、和管理。研究项目的产出，即数字化UGB信息，为MVP-CA城市扩张模拟模型提供了基础数据支持。

### 3.5 全国地块尺度人口空间化与属性合成

人口和社会经济属性信息是城市研究模型中的重要组成部分。目前，一些研究已尝试对大尺度范围内的调研数据进行权重调整来生成个别数据信息(Wu, 等, 2008)。在发展中国家，精细尺度的人口数据普遍缺失，而官方数据渠道通常受到政府的监控，不利于科研项目的开展(Tatem, Linard, 2011)。基于此，笔者试图利用大模型和开放数据来减少数字鸿沟带来的影响，并给发展中国家提供一个生成可靠微观数据的可行方法。

研究中，笔者提出了一套利用开放数据、自动空间化和合成人口属性的方法：首先，利用OpenStreetMap识别和描述地块；然后，基于矢量CA模型，利用众包POI数据推测地块的城市或非城市属性。住房相关的网络签到数据用来区别普通地块和居住地块；最后，利用先前开发的工具“Agenter”(Long, Shen, 2013)和公开的区县尺度人口数据(其中包括人口的分布和各属性之间的关系)，笔者对精细范围内的人口信息进行空间化和属性合成。图9显示的是北京市的数据生成。数据结果已经过北京城市规划设计研究院的实际地面数据验证，具体方法见Long和Shen(2014b)。

研究的最终成果包括全国地块尺度的居民空间分布和属性信息。这一数据可以支持一系列城市研究以及规划政策的制定。数据还具有一定商业价值，例如支持商业区开发的需求研究等。

## 4 结论与展望

大模型是由大规模数据驱动的定量城市与区域研究工具。它利用了简单直

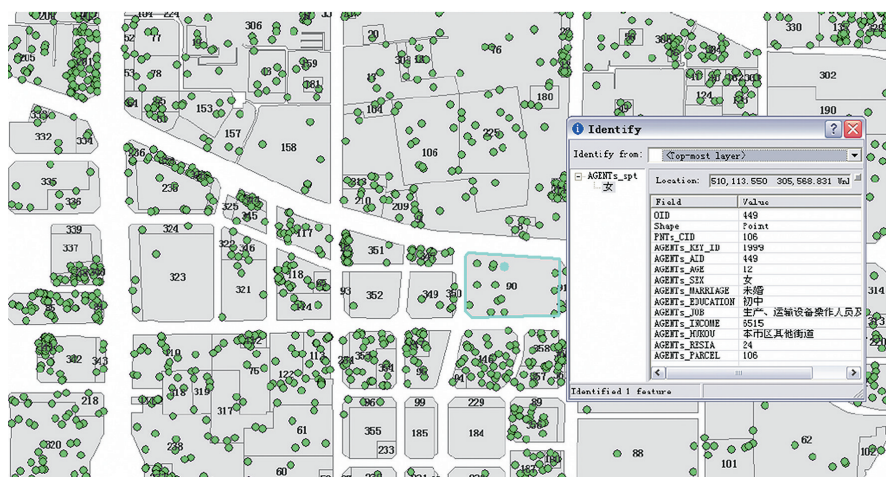


图9 北京都市圈个体属性空间分布图(部分)

Fig.9 The distribution of individual attributes of Beijing urban area (partially shown)

资料来源：作者自绘。

接的建模方式，兼顾了大尺度和精细化模拟单元，代表了一种新的研究范式。本文阐述了大模型的基本概念和内涵，并介绍了一系列大模型应用案例。在当今大数据和开放数据的时代背景下，大模型自下而上的研究视角、以及精细化、量化、全面化的研究方法，为城市与区域研究带来了开创性的进展。

大模型的潜在应用范围广泛，优势体现在：①帮助各个层次城市开展城市研究。过去的城市研究模型大多只能在数据资源丰富和技术水平先进的大城市实施，而在中小城市难以开展。大模型方法的引入可以缩小中小城市的技术和数字鸿沟，建立兼顾不同规模等级城市的一体化研究方法和手段；②精细化分析和模拟。大模型从微观的角度研究区域问题，注重和推崇“以人为本”的研究视角和规划理念。精细化的分析与模拟使空间规划和经济社会发展政策的制定、实施、评价更好地因地制宜；③城市形态与网络关系的量化。大模型使一系列城市形态和网络评价指标得以量化。这些指标进一步与其他社会经济指标结合，共同表征城市发展。

未来大模型的研究重点还包括以下几个方面。首先，城市内部和城市间的研究模型应与大模型更好结合。目前，研究案例中涉及到的多为自下而上的城市内部模型，下一步便是结合城市间关系模型。例如，目前使用的宏观模块在

未来将被省际空间平衡模块所替代。CA模块将采用动态平衡机制来模拟精细尺度上的宏观省际、城际的城市扩张过程。其次，在大模型支持下开展城市理论研究。

## 注释

① POI个数密度单位为个/km<sup>2</sup>。对于没有POI的地块，假设拥有最低密度1个/km<sup>2</sup>。

## 参考文献 (References)

- [1] BATTY M. Building a science of cities[J]. Cities, 2012, 29: 9-16.
- [2] BATTY M. Urban modeling, international encyclopedia of Human geography[M]. Oxford: Elsevier, 2009.
- [3] BATTY M, FERGUSON P. Defining city size [J]. Environment and Planning B: Planning & Design, 2011, 38(5): 753-56.
- [4] FANG C L, GUAN X L, LU S S, et al. Input-output efficiency of urban agglomerations in China: an application of data envelopment analysis (DEA) [J]. Urban Studies, 2013, 50(13): 2766-2790.
- [5] HAN H, LAI S, DANG A, et al. Effectiveness of urban construction boundaries in Beijing: an assessment[J]. Journal of Zhejiang University-Science A, 2009, 10: 1285 - 1295.
- [6] HE C, SHI P, LI J, et al. Restoring urbanization process in China in the 1990s by using non-radiance calibrated DMSP/OLS nighttime light imagery and statistical data[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(13): 614-1620.
- [7] 胡忆东, 吴志华, 熊伟, 等. 城市建成区界定方法研究——以武汉市为例[J]. 城市规划, 2008(4): 88-92. (HU Yidong, WU Zhihua, XIONG Wei, et al. Study of identifying urban built-up area: taking Wuhan as an example

- [8] HUNT J D, KRIGER D S, MILLER E J. Current operational urban land-use - transport modelling frameworks: a review[J]. *Transport Reviews*, 2005, 25(3): 329-376.
- [9] JIANG B, YIN J. Ht-index to quantify the fractal or scaling structure of geographic features[R]. arXiv preprint arXiv, 2013,1305.0883.
- [10] 刘伦, 龙瀛, 麦克·巴蒂. 城市模型的回顾与展望——访谈麦克·巴蒂后的新思考[J]. *城市规划*, 2014(8): 63-70. (LIU Lun, LONG Ying, BATTY M. A retrospect and prospect of urban models: reflections after interviewing michael batty[J]. *City Planning Review*, 2014(8): 63-70.)
- [11] LONG Y, GU Y, HAN H. Spatiotemporal heterogeneity of urban planning implementation effectiveness: evidence from five master plans of Beijing[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 108: 103-111.
- [12] LONG Y, HAN H, LAI S K, et al. Urban growth boundaries of the Beijing Metropolitan Area: comparison of simulation and artwork[J]. *Cities*, 2013, 31: 337-348.
- [13] LONG Y, SHEN Y. Mapping parcel-level urban areas for a large geographical area[R]. arXiv preprint arXiv, 2014a, 1403.5864.
- [14] LONG Y, SHEN Z. Population spatialization and synthesis with open data[R]. arXiv preprint arXiv, 2014b, 1409.0612.
- [15] LONG Y, SHEN Z. Disaggregating heterogeneous agent attributes and location from aggregated data, small-scale surveys and empirical researches[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2013, 42: 14-25.
- [16] LONG Y, SHEN Z, MAO Q. An urban containment planning support system for Beijing[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2011, 35(4): 297-307.
- [17] LONG Y, WU K, MAO Q. Simulating urban expansion in the parcel level for all Chinese cities [M]. arXiv preprint arXiv, 2014, 1402.3718.
- [18] LONG Y, LIU X. Automated identification and characterization of parcels (AICP) with OpenStreetMap and Points of Interest[J]. *Environment and Planning B: Planning & Design*, 2014, Accepted.
- [19] MASUCCI A P, STANILOV K, BATTY M. Limited urban growth: London's street network dynamics since the 18th Century[R]. arXiv preprint arXiv, 2012, 1206.5298.
- [20] WASHINGTON D.C: Planners Press. American Planning Association, 1995.
- [21] PENDALL R, MARTIN J, FULTON W. Holding the line: urban containment in the United States[M]. Washington, D C: The Brookings Institution Center on Urban and Metropolitan Policy, 2002.
- [22] 秦耀辰. 区域系统模型原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004. (QIN Yaochen. The principle and application of the regional system model[M]. Beijing: Science Press, 2004.)
- [23] ROZENFELD H D, RYBSKI D, GABAIX X, et al. The area and population of cities: new insights from a different perspective on cities (No. w15409)[M]. National Bureau of Economic Research, 2009.
- [24] SGS Economics & Planning. Melbourne metro: move to more productive jobs, draft version 2.0 [R], 2012-02-03.
- [25] SGS Economics & Planning. Melbourne's economy: a stunning success or captured by complacency presentation at State Library of Victoria by Terry Rawnsley[R], 2011.
- [26] TATEM A J, LINARD C. Population mapping of poor countries[J]. *Nature*, 2011, 474: 36.
- [27] TIAN L, SHEN T. Evaluation of plan implementation in the transitional China: a case of Guangzhou city master plan[J]. *Cities*, 2011, 28: 11 - 27.
- [28] United States Census Bureau. History: Metropolitan areas[R]. 2014-03-31. [http://www.census.gov/history/www/programs/geography/metropolitan\\_areas.html](http://www.census.gov/history/www/programs/geography/metropolitan_areas.html).
- [29] 万励, 金鹰. 国外应用城市模型发展回顾与新型空间政策模型综述[J]. *城市规划学刊*, 2014(1): 81-91. (WAN Li, JIN Ying. Review on applied urban modeling and new trends of urban spatial policy model[J]. *Urban Planning Forum*, 2014(1): 81-91.)
- [30] 王劲峰. 区域经济分析的模型方法[M]. 北京: 科学出版社, 1993. (WANG Jinfeng. Regional economic modelling and analysis[M]. Beijing: Science Press, 1993.)
- [31] WEGENER M. Overview of land-use transport models[J]. *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems*, 2004, 5:127-146.
- [32] WU B M, BIRKIN M H, REES P H. A spatial microsimulation model with student agents. computers[J]. *Environment and Urban Systems*, 2008, 32, 440-453.
- [33] WU K, FANG C L, HUANG H, et al. Comprehensive delimitation and ring identification on urban spatial radiation of regional central cities: case study of Zhengzhou[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2013, 139(4): 258 - 273.
- [34] 徐毅松, 石蕊, 范宇. 新形势下上海市城市总体规划方法论探究[J]. *城市规划学刊*, 2009(2): 10-15. (XU Yisong, SHI Song, FAN Yu. Methodology of Shanghai city master planning in new position[J]. *Urban Planning Forum*, 2009(2): 10-15.)
- [35] 于洪俊, 宁越敏. 城市地理学概论[M]. 合肥: 安徽科技出版社, 1983. (YU Hongjun, NING Yuemin. Introduction to urban geography[M]. Hefei: Anhui SciTech Press, 1983.)
- [36] 张伟, 顾朝林. 城市与区域规划模型系统 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2000. (ZHANG Wei, GU Chaolin. Urban and regional planning modal system[M]. Nanjing: SEU Press, 2000.)
- [37] 周一星. 关于明确我国城镇概念和城镇人口统计口径的建议[J]. *城市规划*, 1986(3): 10-15. (ZHOU Yixing. Suggestions on the clarification of the concept of cities and towns and of the census standard for the population thereof[J]. *City Planning Review*, 1986(3): 10-15.)
- [38] 朱玮, 王德. 大尺度城市模型与城市规划 [J]. *城市规划*, 2003(5):47-54. (ZHU Wei, WANG De. Large scale city modeling and urban planning[J]. *City Planning Review*, 2003(5): 47-54.)

修回: 2014-11